

文章编号: 1002-0446(2002)03-0193-04

潜器对接及其虚拟现实仿真技术的研究*

索胜军 陈伟 边信黔 施小成

(哈尔滨工程大学 动力工程系 哈尔滨 150001)

摘要: 海洋空间对接是援潜救生技术中最关键的内容. 根据援潜救生机器人的作业特点, 本文对其进行了基于离散事件系统(DES)的作业规划^[1]; 给出了各阶段必要的信息处理方法; 并针对基于 DES 控制系统用常规方法仿真结果不直观的缺陷, 设计了潜器对接虚拟现实系统, 最后展示了运用该系统对潜器对接过程仿真的结果.

关键词: 海洋空间对接; 离散事件系统; 虚拟现实; 仿真

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

RESEARCH ON UNDERWATER VEHICLE'S DOCKING AND IT'S VIRTUAL REALITY SIMULATION

SUO Sheng-jun CHEN Wei BIAN Xin-qian SHI Xiao-cheng

(Department of Power Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract: Ocean space joining is the sticking point in submarine rescue. Aim at the working characteristics of underwater robot, the working process programming based on DES is presented; The prerequisite information needed by every phase is calculated; Considering the shortcomings of common simulation method in DES control system, a VR system of underwater vehicle's docking is designed, the docking process simulation results with VR system is shown in the paper.

Keywords: ocean space docking, discrete event system, virtual reality, simulation

1 引言(Introduction)

海洋空间对接是最近几十年发展起来的一门新兴技术, 它是在载人潜器技术基础之上, 运用更加灵活的操纵及控制技术, 在海洋空间来实现特制潜器与平台的对接. 它的实现是水声、造船、机器人、控制等多学科共同发展的结果; 尤其是控制技术的发展, 为对接的成功提供了最终的保证. 海洋空间对接主要目的是为了实现对接平台与特制潜器之间的物资、人员的传递等. 这项技术目前主要还是用于援潜救生任务. 因为载人潜器虽然可靠性较高, 但并不意味着万无一失; 由于海洋环境的复杂性及潜艇构造的复杂性, 导致了多种不可预测性, 在潜器出现不能及时修复的故障时, 保证潜器中人员能够顺利的脱离危险环境, 成为一个值得探索的问题. 特别是去年, “库尔斯克”号核潜艇沉没及救援行动的失败, 再次告诉人们援潜救生技术进一步发展的必要性, 而

援潜救生技术的的关键就在于海洋空间对接, 因此, 对接技术的进一步研究是十分必要的.

2 基于 BSAV-I 的潜器对接技术的研究(Research on underwater vehicle's docking based on BSAV-I)

BSAV-I 是哈尔滨工程大学开发的六自由度援潜救生自航模^[2,3], 它由艇、对接用裙和对称安装在裙上的四只机械手组成, 在艇上装有两个垂推、两个侧推和一个主推, 为其运动及定位提供动力. 潜器的对接过程可以看作是一个有离散事件组成的分段进行的过程, 典型的作业过程根据先后顺序可分为: 航向调节、定深靠近、定 x, y 控制、定 x, y 下潜、姿态调整、定高控制、机械手作业等阶段, 最后实现机械手的成功抓取. 潜器对接过程的各个阶段作业模式需要根据传感器提供信息进行判断, 下面给出各阶段的信息处理及姿态调节的方法.

* 基金项目: “九五”国防科工委重点预研项目.

收稿日期: 2001-05-19

2.1 救生机器人下水后的航向计算

救生机器人由工作母船垂直吊放到水中后, 进行下潜及浮力均衡. 如果救生机器人距离目标较远, 在对海流、环境力进行估计后, 就应进行航向的调节. 为了充分发挥救生艇纵向、横向的机动能力, 应在考虑海流的方向、大小及救生机器人横向、纵向最大机动能力的情况下, 计算救生艇的航向.

令: 海流和大地坐标系中 x 轴的夹角为 β , 失事艇的方位角为 γ , 海流的大小 V_l , 救生机器人应调整到的的艏向为 α , 救生机器人最大横移速度为 $V_{h_{max}}$, 纵向最大移动速度为 $V_{z_{max}}$, 则可根据下式计算艏向角 α :

$$\frac{\cos(\gamma - \alpha)}{V_{z_{max}} + V_l \cos(\beta - \alpha)} = \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{V_{h_{max}} + V_l \sin(\beta - \alpha)} \quad (1)$$

令

$$\sigma = \arcsin(V_{z_{max}} / \sqrt{V_{z_{max}}^2 + V_{h_{max}}^2}) \quad (2)$$

则

$$\alpha = -\arccos(V_l \sin(\beta - \gamma)) + \gamma + \sigma \quad (3)$$

水下机器人艏向调节到 α , 保证了机器人能在纵向、横向能够基本上同时到达目标点.

2.2 根据失事潜器的纵横倾信息计算失事潜器对接平台的姿态

当救生机器人下潜到失事潜器对接平台上方一定高度时, 应根据失事潜器对接平台的最大倾角、倾斜方向、海流大小、海流方向确定机器人的作业姿态. 在进行姿态调节前的第一步是计算失事潜器对接平台的最大倾角和倾斜方向. 如果失事潜器能够发送出它的航向、纵横倾信息, 则可以根据这些信息计算.

以失事潜器的艏向为 x 轴方向, 水平面为 $x-y$ 平面对接平台的中心为原点, 垂直向下为 z 轴的正方向, 建立直角坐标系 (ξ, η, ζ) , 令它为基准坐标系, 则由失事潜器坐标系到基准坐标系的坐标转换矩阵为

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta\sin\varphi & \sin\theta\cos\varphi \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\varphi & \cos\theta\cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中, θ, φ 分别为失事潜器的纵倾角和横倾角.

在失事潜器坐标系中, $x-y$ 平面的法向量为

$$n = 0i + 0j + k \quad (5)$$

由坐标转化矩阵求得基准坐标系下该平面的法向量为

$$n = \sin\theta\cos\varphi i - \sin\varphi j + \cos\theta\cos\varphi k \quad (6)$$

从而求失事潜器对接平台的最大纵倾角

$$\theta = \arctan(\sqrt{(\sin\theta\cos\varphi)^2 + \sin^2\varphi} / \cos\theta\cos\varphi) \quad (7)$$

定义失事潜器对接平台的倾斜方向为该平台梯度的反方向, 则平台的倾斜方向和它的法线在基准坐标系 $x-y$ 平面的投影方向一致, 由此可计算平台在基准坐标系中的倾斜方向

$$\varphi = \arcsin(-\sin\varphi / \sqrt{(\sin\theta\cos\varphi)^2 + \sin^2\varphi}) \quad (8)$$

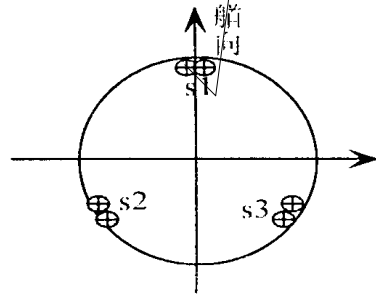


图 1 测高声纳的分布

Fig. 1 The distribution of altitude measuring sonar

在第一象限: $\varphi = \varphi$

在第二象限: $\varphi = 180 - \varphi$

在第三象限: $\varphi = 180 + \varphi$

在第四象限: $\varphi = 360 + \varphi$

然后通过基准坐标系和大地坐标系间的关系转化为大地坐标系中的参数.

2.3 根据机器人测高声纳的信息计算失事潜器平台的姿态

如果潜器损坏较严重, 造成通讯中断或失去能源, 无法发送信息, 则需根据救生机器人三测高声纳的测量值进行计算.

援潜救生机器人自航模 BSAV-I 底部的裙中装有三组测高声纳, 呈等边三角形分布, 一组装在指向艏向的方向; 另两组装在指向艉部的方向, 其连线与艇体坐标系的 y 轴平行.

令三组测高声纳的测量值分别为: h_1, h_2, h_3 , 三组测高声纳组成的正三角形的边长为 l , 此时的救生机器人纵横倾为 0 , 则失事潜器对接平台在机器人航向为艏向意义上的纵倾角、横倾角分别为

$$\theta = \arctan\left(\frac{h_1 - (h_3 + h_2)/2}{\sqrt{3}l/2}\right) \quad (9)$$

$$\varphi = \arctan(h_3 - h_2)/l \quad (10)$$

此时, 便可按失事潜器纵横倾已知的情况计算对接平台的最大倾角和倾斜方向.

2.4 救生艇作业姿态的调节

救生艇的姿态是由作业模式确定的, 根据救生艇的调节能力、环境条件及失事潜器的姿态可分为顶流作业和横倾作业两种模式. 如果对接平台的倾角较小, 则采取顶流作业模式, 接着根据海流方向与对接平台方向的夹角确定是艇顶流还是艏顶流, 当夹角在 $\pm 90^\circ$ 之内, 艇向顶流, 否则艏向顶流. 将机器人艏向调节到给定位置后, 需用测高声纳测量该方

向上对接平台的纵倾角、横倾角, 以调节救生机器人的裙口和对接平台平行. 如果横倾角超过救生艇的调节能力, 则需改为大纵倾作业模式. 当对接平台倾角接近或超过救生艇的最大纵倾调节能力时, 只能采用大纵倾调节模式; 若超过最大纵倾调节能力还需要机械手的配合. 总的姿态调节过程可用图 2 所示流程图进行描述.

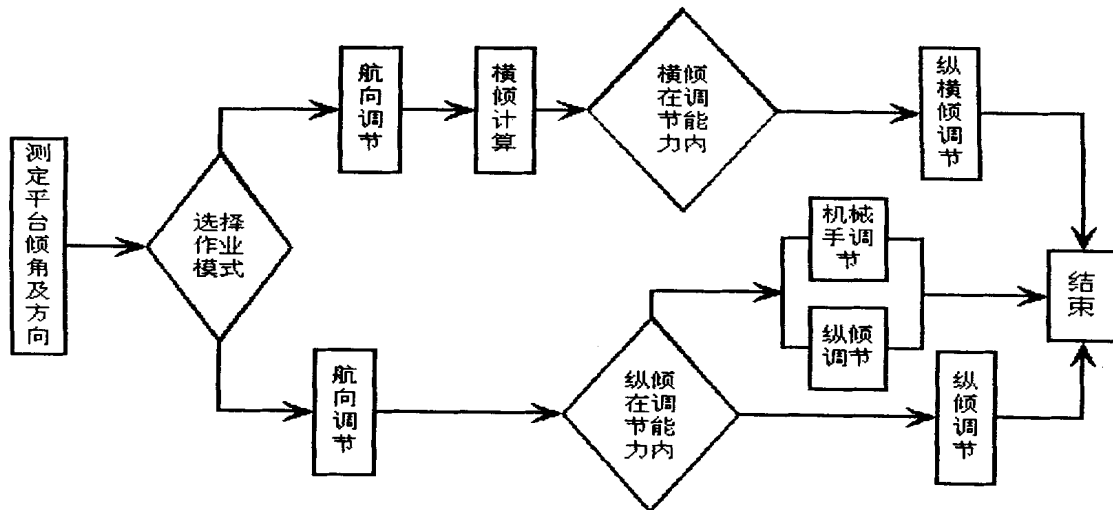


图 2 救生机器人姿态调节过程

Fig. 2 The Procedure of posture regulation of rescue

2.5 机械手协调作业的规划

救生艇悬停到失事艇平台上方, 处于定位状态后, 并不是停在某一点静止不动, 由于环境及本身的干扰, 它实际上是保持在一定的范围内不停的运动, 在环境条件比较恶劣的情况下甚至会有较大的定位误差. 根据这种情况, 本人将对接平面划分为九个区间, 不同的空间对应不同的适合作业的机械手, 是机械手在救生艇靠近定位点的过程中动态的进行抓取作业, 仿真的结果证明该方法可以达到缩短对接时间, 提高对接成功率的目的.

3 潜器对接虚拟现实技术的研究 (Research on a VR system of underwater vehicle's docking)

潜器的海洋空间对接采用的是普遍应用于机器人控制的离散事件控制系统, 即根据传感器信息确定机器人要实现的任务, 并将复杂的任务分成比较简单的、机器人可直接执行的子任务来执行. 这样对于一个复杂任务的执行结果不能由单个的子任务的执行情况来评价, 由于各子任务对父任务的影响不

同, 也不能由它们的简单组合来进行评价, 这对基于数字和曲线的仿真方法提出了挑战. 鉴于此, 本人以 VC++ 6.0 为平台, 以 OpenGL 为接口, 开发出了潜器对接虚拟现实系统, 能够以三维图形的方式直观的展示仿真中各部分的动作情况^[4,5]. 该系统设计实现的功能有两个: 控制策略的体现、验证功能和操作指导功能, 前者是根据仿真程序逻辑要求和计算的数据结果, 显示救生艇、机械手的相应动作, 为其合理性分析提供依据, 后者则是根据实验中传感器的实时信息, 显示救生艇、机械手的位置和姿态, 为操作人员的决策提供依据. 该系统的开发成功, 使得许多需实验验证的问题, 可通过仿真初步解决, 达到缩短试验时间, 降低费用的目的. 若在此基础上稍作扩展, 添加一些必要的设备, 便可实现操作训练功能.

该系统可根据给定的条件, 自动的按要求实现救生艇的位姿调整和机械手的协调作业, 并可以在任意角度观测对接的整个过程, 并提供了实时的信息显示, 仿真结果的曲线描述, 为在线观测和离线分析提供了便利条件. 图 3~ 图 8 展示了潜器对接的一些关键环节的仿真结果.



图 3 对接过程全景

Fig. 3 Panoram a of joining process



图 4 定深航向调节

Fig. 4 Heading adjust w ith depth control



图 5 切换到高度控制状态

Fig. 5 Sw itched to height control

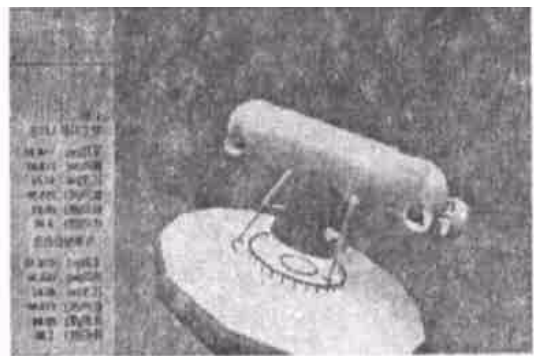


图 6 作业中的机械手

Fig. 6 The m anipulators in w orkign state

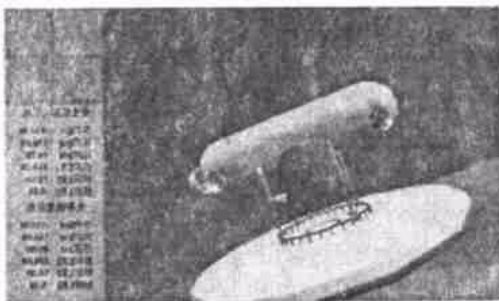


图 7 全部机械手抓住圆环

Fig. 7 All of the m anipulators sized the ring

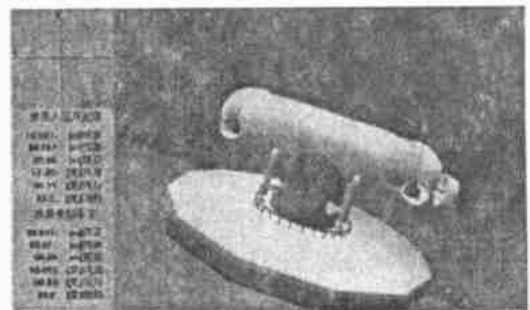


图 8 成功对接

Fig. 8 Successes in joining

4 结论(Conclusion)

结合 BSAV-I, 对潜器对接过程进行了初步的规划, 并对各阶段必须的信息给出了计算方法. 设计了潜器对接虚拟现实系统, 以便运用十分直观地的三维图像, 描述对接过程的各个阶段中救生艇的状态及最后抓取作业时各机械手的配合情况. 仿真结果证明了规划的正确性及三维仿真的有效性.

参考文献 (References)

1 D B MARCO, A J HEALEY, R B MCGHEE. Autonomous underwater vehicles: hybrid control of mission and motion. Au-

tonomous Robots[J], 1996(3): 169- 186

2 戴学丰. 援潜救生艇姿态和对口装置协调控制研究. 哈尔滨工程大学博士学位论文[D] 哈尔滨. 哈尔滨工程大学, 2000. 8

3 吕舒平. 救生艇六自由度动力定位系统建模与控制研究. 哈尔滨工程大学博士学位论文[D] 哈尔滨. 哈尔滨工程大学, 2000. 10

4 刘长松, 程连冀. (译) 3D 图形编程指南. [http://dastudio. topcool. net/docs/3dprog ram minguide](http://dastudio.topcool.net/docs/3dprogrammingguide)

5 彭小明, 王坚. OpenGL 深入编程与实例揭秘. 人民邮电出版社, 1999. 6

作者简介:

索胜军 (1969-), 男, 哈尔滨工程大学博士研究生. 研究领域: 智能控制技术.